

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-173266

(43) 公開日 平成10年(1998) 6月26日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 S 3/10

H 0 1 S 3/10

Z

G 0 2 B 6/293

G 0 2 B 6/28

C

審査請求 有 請求項の数17 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号

特願平8-329801

(22) 出願日

平成8年(1996)12月10日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 藤田 正幸

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72) 発明者 佐伯 美和

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

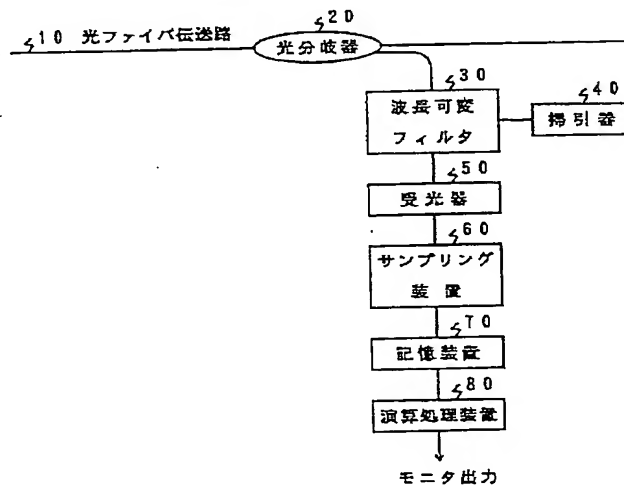
(74) 代理人 弁理士 京本 直樹 (外2名)

(54) 【発明の名称】 信号光モニタとこれを用いた光増幅器

(57) 【要約】

【課題】 波長多重信号光の信号光波長毎に各信号光のパワーをモニタし、波長多重信号光の信号光波長をモニタすることができるようにする。

【解決手段】 光ファイバ伝送路10に挿入された光分岐器20と、光分岐器20で分岐された光に含まれる特定波長光成分を透過する波長可変フィルタ30と、波長可変フィルタ30の透過波長を特定波長領域で掃引する掃引器40と、波長可変フィルタ30の透過光を受光する受光器50と、受光器50の出力をサンプリングするサンプリング装置60と、サンプリング装置60の時間変化を記憶する記憶装置70と、記憶装置70に記憶されたデータを基に、受光器50の出力波形を演算処理する演算処理装置80とを含んで構成される。本発明の光増幅器は上記信号光モニタを入力側あるいは出力側に備えており、信号光の数、各信号光のレベル、信号対雑音比等の物理量をモニタすることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光ファイバ伝送路中に配置され、入力された信号光の一部を分岐して第 1 の分岐光を出力する第 1 の光分岐器と、

前記第 1 の分岐光うち、第 1 の特定波長成分を透過して透過光を出力する第 1 の波長可変フィルタと、

前記第 1 の波長可変フィルタの透過中心波長を前記第 1 の特定波長成分の範囲で掃引する第 1 の掃引器と、

前記透過光を受光して電気信号に変換する第 1 の受光器と、

前記第 1 の電気信号をサンプリングして第 1 のサンプリングデータを出力する第 1 のサンプリング手段と、

前記第 1 のサンプリングデータの時間変化を記憶する第 1 の記憶装置と、

前記第 1 の記憶装置に記憶された前記第 1 のサンプリングデータに基づいて、前記第 1 の電気信号の出力波形の急峻な変化を検出して該変化の存在により信号光の存在を識別する第 1 の信号光識別手段と、

前記第 1 の電気信号の背景レベルから雑音光レベルを検出する第 1 の雑音光レベル検出手段と、

前記第 1 の電気信号のピークレベルと前記雑音光レベルとの差から第 1 の信号光レベルを算出する第 1 の信号光レベル算出手段とを備えていることを特徴とする信号光モニタ。

【請求項 2】 請求項 1 記載の信号光モニタが、さらに、

前記第 1 の電気信号の波形にピークが現われる時間から信号光波長を測定する第 1 の演算処理手段を備えていることを特徴とする信号光モニタ。

【請求項 3】 前記信号光モニタが、さらに、

前記第 1 の信号光レベルと前記雑音光レベルから、信号光の信号対雑音比を算出する信号対雑音比算出手段を備えていることを特徴とする請求項 1 記載の信号光モニタ。

【請求項 4】 入力された信号光を増幅して増幅信号光を出力する光増幅手段を備えた光増幅器であって、さらに、前記光増幅手段の出力側に請求項 1 から請求項 3 までのいずれかの請求項に記載の信号光モニタの前記第 1 の光分岐器が配置されていることを特徴とする光増幅器。

【請求項 5】 前記光増幅器は、さらに、

前記信号光レベルが一定となるように前記光増幅手段の出力を制御する信号光レベル制御手段を備えていることを特徴とする請求項 4 記載の光増幅器。

【請求項 6】 前記光増幅器は、さらに、

前記演算処理装置による信号光の存在の識別の結果に基づいて、信号光がない場合には前記光増幅手段の動作を停止させる光増幅停止手段を備えていることを特徴とする請求項 5 に記載の光増幅器。

【請求項 7】 入力された信号光を増幅して増幅信号光

を出力する光増幅手段を備えた光増幅器であって、さらに、前記光増幅手段の入力側に請求項 1 から請求項 3 までに記載のいずれかの請求項に記載の信号光モニタの前記第 1 の光分岐器が配置されていることを特徴とする光増幅器。

【請求項 8】 請求項 4 から請求項 6 までにいずれかの請求項に記載の光増幅器は、さらに、

前記光増幅手段の入力側に配置され、入力された信号光の一部を分岐して第 2 の分岐光を出力する第 2 の光分岐器と、

前記第 2 の分岐光のうち、第 2 の特定波長成分を透過する第 2 の波長可変フィルタと、

前記第 1 の波長可変フィルタの透過中心波長を前記第 2 の特定波長の範囲で掃引する第 2 の掃引器と、

前記波長可変フィルタの出力光を受ける第 2 の受光器と、

前記第 2 の受光器の出力をサンプリングして第 2 のサンプリングデータを出力する第 2 のサンプリング手段と、

前記第 2 のサンプリング手段の時間変化を記憶する第 2 の記憶手段と、

前記第 2 の記憶手段に記憶された第 2 のサンプリングデータに基づいて、前記第 2 の電気信号の出力波形の急峻な変化の存在から前記光増幅手段へ入力される光における信号光の存在を識別する第 2 の信号光識別手段と、

前記第 2 の電気信号の出力の背景レベルから雑音光レベルを測定し、前記第 2 の電気信号の出力のピークレベルと背景光レベルとの差から第 2 の信号光レベルを測定する第 2 の演算処理手段とを含む第 2 の信号光モニタを備えていることを特徴とする光増幅器。

【請求項 9】 請求項 7 又は請求項 8 記載の光増幅装置は、さらに、

前記光増幅手段へ入力される信号光の前記信号光レベルと、出力側の前記信号光レベルとの比から前記光増幅手段の利得を算出し、該利得が一定となるように前記光増幅手段を制御する光増幅利得制御手段を備えていることを特徴とする光増幅器。

【請求項 10】 請求項 7 から請求項 9 までにいずれかの請求項に記載の光増幅器は、さらに、

前記第 2 の信号光識別手段の識別結果に基づいて、前記信号光がない場合には、前記光増幅手段の動作を停止させる第 2 の光増幅停止手段を備えていることを特徴とする光増幅器。

【請求項 11】 請求項 8 又は請求項 9 記載の光増幅器は、さらに、

前記第 2 の信号光識別手段の識別結果と前記第 1 の信号光識別手段の識別結果に基づいて、入力側の信号光が存在して出力側の信号光が存在しない場合には、光増幅手段を故障と判定する光増幅故障判定手段を備えていることを特徴とする光増幅器。

【請求項 12】 前記第 1 の波長可変フィルタは、誘電

体多層膜を用いた干渉膜フィルタを含んでいることを特徴とする請求項1記載の信号光モニタ。

【請求項13】 前記第1の波長可変フィルタは、フアブリペローエタロンを含んでいることを特徴とする請求項1記載の信号光モニタ。

【請求項14】 前記第1の波長可変フィルタは、導波路を含んでいることを特徴とする請求項1記載の信号光モニタ。

【請求項15】 前記第1の波長可変フィルタは、フアイバグレーティングを含んでいることを特徴とする請求項1記載の信号光モニタ。

【請求項16】 光増幅手段は、希土類元素を添加した光ファイバを増幅媒体とする光ファイバ増幅器であることを特徴とする請求項4から請求項10までのいずれかの請求項に記載の光増幅器。

【請求項17】 光増幅手段は、半導体の誘導放出現象を利用する半導体光増幅器であることを特徴とする請求項4から請求項10のいずれかの請求項に記載の光増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光通信システムに用いられる、信号光モニタおよびこれを用いた光増幅器に関する。

【0002】

【従来の技術】 光通信においては、伝送容量を増加させる一つの手段として、相異なる波長を有する複数の光信号を一本の光ファイバで伝送する波長多重光伝送方式が用いられている。また、長距離伝送への要求も高まりつつあり、光ファイバ伝送路に光増幅器を挿入する方式が一般的になりつつある。光増幅器としては、コア内部に希土類元素をドープした光ファイバを増幅媒体として使用する光ファイバ増幅器や、半導体内部での誘導放出現象を利用した半導体増幅器が知られおり、現在商用に供されている光増幅器としては光ファイバ増幅器が一般的である。

【0003】 光通信システムでは、システム保守を容易にすること等を目的として、光ファイバ伝送路内を伝搬する光信号のパワー、波長、信号対雑音比、信号光波長変動等々を、端局装置あるいは光増幅器と光ファイバ伝送路との接続点でモニタする機能が望まれている。光増幅器では、光ファイバ伝送路への光送出レベルを一定に維持し伝送特性を安定化させる為に、その信号光出力を一定に維持する必要がある、光増幅器の動作制御の観点からも、信号光をモニタする機能が必要となる。

【0004】 従来、このような光信号モニタとしては、光ファイバ増幅器内部に用いられる光信号パワーモニタが代表的である。その一例を図6に示す。光増幅器91の光出力部に光分岐器22を挿入し、光出力の一部を分岐して受光器52で受光し、このレベルが一定となるよ

うに励起光源160の励起光出力パワーを制御して、光ファイバ増幅器の光出力を一定に保つことができる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 光ファイバ伝送路に光分岐器を挿入し、分岐光を受光器で受光するという上述の方式をシステム保守用の信号光モニタへ転用した場合、モニタできるのは全光パワーのみである。したがって、本方式をシステム保守のための信号光モニタへ転用しても、信号光の信号対雑音比や、波長多重信号光の信号光波長毎の信号光パワー、あるいは信号光波長の変動をモニタすることができない。

【0006】 また、上述の方式は、光増幅器の制御に用いるモニタとしても以下のような問題を有している。すなわち、一般に、光増幅器では増幅された信号光を出力すると共に、光増幅媒体内で発生する自然放出光も出力するため、上述のモニタ方式では、純粋に信号光パワーだけをモニタすることができない。自然放出光パワーが出力光パワー全体に占める割合は、光増幅器の入力光レベルによって変化するため、受光器でモニタされた出力光レベルを一定に制御しても、信号光出力パワーは一定とならない。

【0007】 本発明の第1の目的は、以下の機能を実現し得る信号光モニタ手段を提供することにある。すなわち、波長多重信号光の信号光波長毎に各信号光のパワーをモニタする機能、波長多重信号光の信号光波長をモニタする機能を備えるようにすることを目的とする。

【0008】 また、本発明の第2の目的は、以下の機能を有する光増幅器を実現することにある。すなわち、自然放出光に依らず、信号光出力一定制御を精度よく行え、さらに増幅された波長多重信号光の信号光波長毎の雑音指数をモニタできる光増幅器を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】 本発明の信号光モニタは、上記課題を解決するために、光ファイバ伝送路中に配置され、入力された信号光の一部を分岐して第1の分岐光を出力する第1の光分岐器と、第1の分岐光うち第1の特定波長成分を透過して透過光を出力する第1の波長可変フィルタと、第1の波長可変フィルタの透過中心波長を第1の特定波長成分の範囲で掃引する第1の掃引器とを備えている。掃引器から出力される透過光を受光して電気信号に変換する第1の受光器と、第1の電気信号をサンプリングして第1のサンプリングデータを出力する第1のサンプリング器を備え、第1のサンプリングデータの時間変化を記憶した第1の記憶装置から第1のサンプリングデータに取り出して、第1の電気信号の出力波形の急峻な変化を検出してその変化の存在により信号光の存在を識別する。そして、第1の雑音光レベル検出器により第1の電気信号の背景レベルから雑音光レベルを検出し、第1の信号光レベル算出器により第1の電

気信号のピークレベルと雑音光レベルとの差から第1の信号光レベルを算出することを特徴とする。

【0010】また、上記信号光モニタが、さらに、第1の電気信号の波形にピークが現われる時間から信号光波長を測定する第1の演算処理手段を備えていることを特徴としている。信号光モニタは、さらに、第1の信号光レベルと雑音光レベルから、信号光の信号対雑音比を算出する信号対雑音比算出手段を備えていることを特徴とする。

【0011】ここで、信号光モニタにおける第1の波長可変フィルタは、誘電体多層膜を用いた干渉膜フィルタ、ファブリペローエタロン、導波路、ファイバグレーティングのいずれかを含んでいることを特徴とする。

【0012】また、本発明の光増幅器は、入力された信号光を増幅して増幅信号光を出力する光増幅部を備えた光増幅器であって、さらに、光増幅部の出力側に上記特徴を有する信号光モニタの第1の光分岐器が配置されていることを特徴としている。本発明の光増幅器は、また信号光レベルが一定となるように光増幅部の出力を制御する信号光レベル制御部を備えていることを特徴としている。また、光増幅器は、さらに、演算処理装置による信号光の存在の識別の結果に基づいて、信号光がない場合には光増幅部の動作を停止させる光増幅停止機能を備えている。

【0013】さらに、本発明の光増幅器は、入力された信号光を増幅して増幅信号光を出力する光増幅部光増幅器であって、光増幅部の入力側に上記特徴を有する信号光モニタが配置されていることを特徴としている。

【0014】また、本発明の光増幅器は、上記特徴を有する信号光モニタを入力側と出力側の双方に備えていることを特徴としている。そして、光増幅部へ入力される信号光の信号光レベルと、出力側の信号光レベルとの比から光増幅部の利得を算出し、この利得が一定となるように光増幅部を制御する光増幅利得制御機能を備えていることを特徴とする。

【0015】また、光増幅器は、さらに第2の信号光識別器の識別結果に基づいて、信号光がない場合には、光増幅部の動作を停止させる第2の光増幅停止機能を備えている。光増幅器は、さらに第2の信号光識別器の識別結果と第1の信号光識別器の識別結果に基づいて、入力側の信号光が存在して出力側の信号光が存在しない場合には、光増幅部を故障と判定する光増幅故障判定機能を備えている。

【0016】ここで、光増幅器の光増幅部は、希土類元素を添加した光ファイバを増幅媒体とする光ファイバ増幅器あるいは半導体の誘導放出現象を利用する半導体光増幅器であることを特徴とする。

【0017】

【発明の実施の形態】まず最初に本発明の信号光モニタの基本構成およびその動作原理について説明する。

【0018】本発明の信号光モニタは、図1に示すように、光ファイバ伝送路10に挿入された光分岐器20と、光分岐器20で分岐された光に含まれる特定波長光成分を透過する波長可変フィルタ30と、波長可変フィルタ30の透過波長を特定波長領域で掃引する掃引器40と、波長可変フィルタ30の透過光を受光する受光器50と、受光器50の出力をサンプリングするサンプリング装置60と、サンプリング装置60の時間変化を記憶する記憶装置70と、記憶装置70に記憶されたデータを基に、受光器50の出力波形を演算処理する演算処理装置80とを含んで構成される。

【0019】図2を参照して、本発明の信号光モニタの動作について詳細に説明する。

【0020】波長多重光通信システムでは、通常、光ファイバ伝送路10には、図2(a)に示すスペクトラムのように、複数(m個)の信号光と広い波長範囲にほぼ均等に分布する雑音光とが重畳されて伝送される。

【0021】光ファイバ伝送路10を伝播するこのような光(以下、「伝送信号光」という。)を、光分岐器20で分岐して波長変化フィルタ30に導き、掃引器40により波長可変フィルタ30の透過中心波長を掃引すると、受光器50からは、波長に対する光パワーの変化(図2(a))が出力電流の時間変化(図2(b))となって現われる。

【0022】すなわち、波長可変フィルタ30の透過中心波長が各信号光波長と一致したときに、受光器50の出力波形にm個の急峻なピークが現われる。このピークのレベルは、各信号光 P_{sk} ($k=1\cdots m$)と各信号光波長における雑音光 P_{nk} ($k=1\cdots m$)が加算された光レベル $P_{pk}=P_{sk}+P_{nk}$ ($k=1\cdots m$)に相当する。また、波長可変フィルタ30の透過中心波長が信号光波長と一致しないときは、雑音光のみが受光器50に入射されるため、雑音光レベルが受光器50出力波形の背景レベル(急峻なピーク以外のレベル)となって現われる。

【0023】受光器50の出力を、サンプリング装置60でサンプリングし、サンプリング装置60出力の時間変化を記憶装置70に記憶する。

【0024】演算処理装置80は、記憶装置70の記憶された受光器50の出力波形データを基に、
①受光器5の出力ピークの数から、伝送信号光に含まれる信号光の数mを、

受光器5の出力の各ピークレベルから、伝送信号光に含まれる各信号光波長成分における光パワー P_{pk} ($k=1\cdots m$)を、

受光器5の出力の各ピーク近傍のレベルから、各信号光波長成分に含まれる雑音光パワーの近似値 P_{nk} ($k=1\cdots m$)を、

受光器出力の各ピークが現れる時間から、各信号光の波長 λ_k ($k=1\cdots m$)を、

検出して出力する。さらに、演算処理装置 80 では、 P_{pk} と P_{nk} より、各信号光波長における信号光パワー P_{sk} ($k=1\cdots m$)、および各信号光の信号対雑音比 SN_k ($k=1\cdots m$) を計算し出力することもできる。

【0025】次に、本発明の信号光モニタの第 1 の実施例について説明する。図 3 は、本発明の信号光モニタの第 1 の実施例の構成を示した図である。

【0026】光ファイバ伝送路 10 には光分岐器 20 が挿入され、光分岐器 20 で分岐された光は波長可変フィルタ 30 に導かれる。波長可変フィルタ 30 の透過中心波長は、掃引器 40 により、一定速度 V (nm/s) で特定波長範囲内を掃引される。波長可変フィルタ 30 を透過した光は受光器 50 で検出され、受光器 50 の出力は A/D 変換回路 100 に入力される。A/D 変換回路 100 は、クロック 110 のパルスに同期して受光器 50 の出力を次々にサンプリングして、メモリ 120 へ出力する。メモリ 120 は、クロック 110 のパルスによりアドレスをインクリメントしながら、A/D 変換回路 100 の出力を記憶する。したがって、メモリ 120 には、受光器 50 の出力波形を、クロック 110 で決まる時間間隔 τ でサンプリングした結果が、初期アドレスから順に時系列的に記憶されることになる。演算処理装置は CPU 130 と、波形データ処理に必要な定数をあらかじめ記憶させたメモリ 140 で構成されている。

【0027】まず、CPU 130 から出力される掃引開始信号により、掃引器 40 による波長可変フィルタ 30 の透過中心波長の掃引動作、およびメモリ 120 の記憶動作が開始される。掃引が終了すると、掃引器 40 から掃引終了信号が CPU 130 へ出力され、CPU 130 からの命令によりメモリ 120 の記憶動作が停止する。これにより、メモリ 120 には、受光器 50 の出力波形を、クロック 110 の出力パルスで決まる時間間隔 τ でサンプリングした結果が、時系列的に記憶されることになる。このとき、隣接するアドレスに記憶されたデータは、波長幅 $\Delta\lambda$ ($=V\times\tau$) だけ離れた光パワーに対応したものとなる。

【0028】メモリ 140 には、掃引器 40 による波長可変フィルタ 30 の透過中心波長の掃引速度 V 、掃引開始波長 λ_s 、サンプリング間隔 τ 、および、A/D 変換器出力データから光分岐器を通過する光パワーを換算するための換算データ等が記憶されており、CPU 130 による波形データ処理に使用される。

【0029】CPU 130 は、以下の処理を行う。

【0030】① ピークの数 m のカウント

メモリに記憶されたピークレベルデータ D_{pk} (k
 $\lambda = \lambda_s + V \times \tau \times A$

【0036】

$$A = \text{int}[(\lambda - \lambda_s) / (V \times \tau)]$$

ここに、 $\text{int}[]$ は $[]$ 内数値に最も近い整数を意味する。

$= 1\cdots m$ 、以下同じ) の初期アドレスからのオフセット A_k の特定

ピークレベル近傍の雑音レベルデータ D_{nk} の特定

A_k から波長 λ_k ($=\lambda_s + V \times \tau \times A_k$) の計算

D_{pk} および D_{nk} から、光分岐器を通過する光パワー P_{pk} および P_{nk} への換算

P_{pk} および P_{nk} から、光分岐器を通過する信号光パワー P_{sk} の計算

P_{sk} および P_{nk} から、信号対雑音比 SN_k の計算

処理結果に基づき、CPU 130 からは、ピーク数 n ならわち信号光数 m 、各信号光波長における信号光パワー P_{sk} 、各信号光の波長 λ_k 、および各信号光の信号対雑音比 SN_k 等が出力される。尚、これらの値は、掃引器 40 の掃引動作を繰り返せば、掃引終了毎に更新することができる。

【0031】上述した本発明の信号光モニタにおいて、光分岐器 20 として光ファイバ融着型光分岐、波長可変フィルタ 30 として誘電体フィルタをパルスステッピングモータで回転させるもの、掃引器 40 としてパルスステッピングモータを一定速度で回転させるモータ駆動回路、受光器 50 として PIN ホトダイオードを使用することができる。光ファイバ伝送路 10 には、相異なる波長を有する 4 つの信号光が伝播している。

【0032】掃引器 40 により波長可変フィルタ 30 の透過中心波長を掃引し、受光器 50 の出力波形をメモリ 120 に記憶させる手順は、上述した通りである。

【0033】メモリ 140 には、あらかじめ次のような換算データが記憶されている。

【0034】 掃引器 40 による波長可変フィルタ 30 の透過中心波長の掃引速度 V 、

掃引開始波長 λ_s 、

サンプリング間隔 τ

メモリ 120 に記憶された A/D 変換回路 100 の出力データから、光分子器 20 を通過する光パワーを換算するための比例定数 C

波形ピークを検出するための参照値 R

各信号光について、それらの信号光が取り得る最短波長 $\lambda_{min}(k)$ および最長波長 $\lambda_{max}(k)$ ($k=1, 2, 3, 4$)

信号光の最大線幅 $\Delta\lambda_c$

メモリ 17 の特定アドレス A と、これに対応する波長 λ は次のように換算することができる。

【0035】

【数 1】

第 1 式

【数 2】

第 2 式

【0037】演算処理装置16においては、次の処理を行う。

【0038】(1) ピーク数すなわち信号光波長数の検出

通常、信号光に対応するピークは急峻な変化を示す。すなわち、メモリ120の隣接アドレスにあるデータの差は、ピークがあると大きくなる。したがって、次の手順でピークの数のカウントすることができる。

【0039】① 各信号光が取り得る最短波長 $\lambda_{min}(k)$ および最長波長 $\lambda_{max}(k)$ に対応するアドレス $A_{min}(k)$ および $A_{max}(k)$ を第2式より求める。

【0040】アドレス $A_{min}(1)$ から $A_{max}(1)$ までのデータについて、隣接アドレス間でのデータ値の差を計算し、それらの計算結果の中に参照値Rを越える値があれば、 $\lambda_{min}(1)$ から $\lambda_{max}(1)$ の波長範囲に信号光ピークが存在すると判定できる。信号光ピークが存在すると判定した場合は、カウントmを1に設定する。

【0041】 $k=2, 3, 4$ のアドレス $A_{min}(k)$ および $A_{max}(k)$ のそれぞれについて、上記と同様の処理を行い、信号光ピークが存在すると判定されたら、その都度、mをインクリメントする。

【0042】(2) ピークデータの特定
上記(1)の処理で、信号光ピークの存在が確認されたアドレス区間 $A_{min}(k) \sim A_{max}(k)$ について、アドレス区間内の最大値データ D_{pk} と、そのアドレス $A_{pk}(k=1, 2, 3, 4)$ を求める。

【0043】(3) 雑音レベルデータの特定
信号光の最大線幅 $\Delta\lambda_c$ から、次式により、アドレスのオフセット ΔA_k を求める。

【0044】

【数3】

$$\Delta A_k = \text{int} [\Delta \lambda_c / (V \times \tau)] + 1$$

【0045】雑音レベルデータのアドレス A_{nk} を、次式で求める。

【0046】

【数4】

$$A_{nk} = A_{sk} + \Delta A_k \quad (k=1, 2, 3, 4)$$

【0047】すなわち、アドレス A_{nk} のデータ D_{nk} は、信号光ピークから信号光線幅だけ離れた波長の光レベルであるため、信号光成分を含まない。したがって、
$$\lambda_k = \lambda_s + V \times \tau \times A_{pk}$$

【0059】上記の手順で算出された、信号光の数m、各信号光パワー P_{sk} 、各信号光波長 λ_{sk} 、および各信号光の信号対雑音比 SN_k は、CPU130でパラレルデータあるいはシリアルデータに加工されて出力される。

【0060】尚、この例では、掃引器40として波長可変フィルタ30のパルスステッピングモータを一定速度

D_{nk} は、信号光波長近傍の雑音光レベルと見ることができる。

【0048】(4) 各信号光波長における光パワー P_{pk} および雑音光パワー P_{nk} の換算メモリ17に記憶してある比例定数Cを用い、次式により P_{pk} および P_{nk} を求める。

【0049】

【数5】

$$P_{pk} = C \times D_{pk}$$

【0050】

【数6】

$$P_{nk} = C \times D_{nk}$$

【0051】比例定数Cは、光分岐器20の通過損失、波長可変フィルタ30の通過損失、受光器50の受光感度等により決まる定数であり、あらかじめ実験的に求めることができる。

【0052】(5) 各信号光のパワー P_{sk} の算出
 P_{nk} は信号光波長近傍の雑音光レベルであり、かつ、通常、雑音光レベルは波長に対して急激には変化しないため、この値を近似的に信号光波長における雑音光レベルと見ることができる。したがって、 P_{pk} および P_{nk} から、次式により各信号光のパワー P_{sk} が求まる。

【0053】

【数7】

$$P_{sk} = P_{pk} - P_{nk}$$

【0054】(6) 各信号光の信号対雑音比 SN_k の算出

P_{sk} および P_{nk} から、次式により各信号光のパワー P_{sk} が求まる。

【0055】

【数8】

$$SN_k = P_{sk} / (F \times P_{nk})$$

【0056】ここに、Fは、光ファイバ伝送路10の末端に接続される光受信機での受信光波長帯域で決まる定数であり、光通信システム設計時に決まる値である。また、この値をメモリ140に記憶させておいても良い。

【0057】(7) 各信号光の波長の算出

(2)において求めた信号光ピークデータの記憶アドレス A_{pk} より、信号光波長 λ_k を、次式で求めることができる。

【0058】

【数9】

$$(k=1, 2, 3, 4)$$

で回転させるモータ駆動回路を例示したが、直接、CPU130からの信号によりパルスステッピングモータを特定角度だけ回転させても良い。

【0061】また、波長可変フィルタ30としては、ファブリペローエタロンを利用したもの、導波路を利用したもの、ファイバグレーティングを利用したもの等を用いることができる。

【0062】掃引器40は、波長可変フィルタ30の透過中心波長を掃引する機能を有するものであり、使用する波長可変フィルタ30の駆動機構に応じて種々の形態を採り得ることは言うまでもない。例えば、空隙をキャビティとするファブリペローエタロンの空隙長さを圧電素子で変化させるものにあつては印加電圧掃引装置、導波路やファイバグレーティングの温度を電子冷却器により変化させて為る波長可変フィルタでは電子冷却器への通電電流掃引装置の形態を採り得る。

【0063】次に、図4を参照して、本発明の光増幅器の第1の実施例について説明する。

【0064】本実施例は、図1に示される信号光モニタの光分岐器20を光増幅器90の出力部に挿入し、光増幅器90の動作を制御する例である。

【0065】光増幅器90および制御回路100以外の構成要素の動作および具体的な実施例は第1の実施の形態および第1の実施例で示した通りである。制御回路150は、演算処理装置80により検出される信号光の数 m がゼロ、すなわち信号光が全く無い状態となったときに、光増幅器90の動作を停止し、不要な電力消費の回避等を行う。また、制御回路150は、演算処理装置80により算出される特定信号光のレベルが一定となるように、光増幅部90の動作を制御する。

【0066】光増幅部90の制御に使用する特定信号光レベルとして、各信号光のうちレベルが最も小さい信号光レベルを使用すれば光増幅器90から出力される信号光の最小値レベルが保証され、各信号光のうちレベルが最も大きい信号光レベルを使用すれば光増幅器90から出力される信号光の最大値レベルが保証されることになる。

【0067】光増幅器としては、希土類元素を添加した光ファイバを増幅媒体とする光ファイバ増幅器、あるいは半導体の誘導放出現象を利用する半導体光増幅器を用いることができる。

【0068】さらに、本発明の光増幅器の第2の実施例について図5を参照して説明する。

【0069】本実施例は、図4に示される光増幅器に、さらに、光増幅部90の入力部に挿入された光分岐器21と、光分岐器21で分岐された光に含まれる特定波長光成分を透過する波長可変フィルタ31と、波長可変フィルタ31の透過波長を特定波長領域で掃引する掃引器41と、波長可変フィルタ31の透過光を受光する受光器51と、受光器51の出力をサンプリングするサンプリング装置61と、サンプリング装置61の時間変化を記憶する記憶装置71とを有する。

【0070】演算処理装置80では、受光器50で検出される光増幅器90の出力光および受光器51で検出される光増幅器90の入力光のそれぞれについて、第1の実施の形態および第1の実施例で示した処理が行われる。

【0071】制御回路150には、第2の実施例で示した動作のほか、次のような動作を行わせることができる。

【0072】(1) 入力光に含まれる信号光の数がゼロになったときにも光増幅器90の動作を停止して、不要な電力消費の回避等を行うことができる。

【0073】(2) 入力光と出力光の両方について、それぞれ信号光が含まれているか否かを検出できるため、光増幅部90の動作の異常を検出することができる。すなわち、入力光に信号光が含まれ、出力光に信号が含まれている場合には、光増幅部90の動作が異常であると判定することができる。

【0074】(3) 入力光と出力光の両方について、各信号光のレベルをそれぞれ個別にモニタできるため、各信号光に関する光増幅部90の利得を個別に検出することができる。これにより、特定の信号光の利得をもとに、その利得が一定なるように光増幅部90を制御することができる。すなわち、利得の最も小さい信号光の利得が一定となるように制御すれば、光増幅部90の最小利得が、利得の最も大きい信号光の利得が一定となるように制御すれば、光増幅部90の最大利得を保証することができる。

【0075】(4) さらに、出力信号光に重畳された光増幅部90内部で発生した自然放出光の、各信号光波長近傍のレベルを雑音光として検出することができる。これにより、各信号光毎に、光増幅部90における雑音指数を算出してモニタすることができる。すなわち、 k 番目の信号光の入力レベル $P_{i s k}$ ($k=1 \cdots m$) と出力レベル $P_{o s k}$ ($k=1 \cdots m$)、および出力光に含まれる k 番目の信号光波長近傍の自由放出光レベル $P_{n k}$ ($k=1 \cdots m$) から、 k 番目の信号光に関する光増幅部90の雑音指数 $N F k$ ($k=1 \cdots m$) を次式により算出することができる。

【0076】

【数10】

$$N F k = P_{n k} / (h \cdot \nu_k \cdot \Delta \nu \cdot G k)$$

$$G k = P_{o s k} / P_{i s k}$$

【0077】ここに、 h はプランク定数、 ν_k ($=c/\lambda_k$ 、 c は光の速度)は k 番目の信号光の光の周波数、 $\Delta \nu$ ($=c \times \Delta \lambda f / \lambda_k^2$ 、 $\Delta \lambda f$ は波長可変フィルタ30の3dB透過帯域幅)は波長可変フィルタ30の透過帯域幅の周波数換算値である。なお、上式は、例えば1992年電子通信学会秋季大会予稿集、論文C-268に示されている。

【0078】

【発明の効果】本発明の信号光モニタによれば、以下のような効果を有する。すなわち、光ファイバ伝送路に挿入されるのは光分岐器のみであるため、光ファイバ伝送路内を伝播する伝送信号光に対する損失が少ない。

【0079】また、伝送信号光の波長スペクトラムを、

受光器出力の時間的な変化として取り出すことにより、伝送信号光に含まれる複数の信号光について、それぞれ次のような物理量を簡易にモニタすることもできる。すなわち、①信号光の数、各信号光のレベル、各信号光の信号対雑音比、各信号光の波長をモニタすることができる。

【0080】さらに、本発明の信号光モニタによれば、光増幅部の出力光をモニタすることにより、次のような機能を有する光増幅器を実現することができる。すなわち、

出力信号光が全く存在しない場合に光増幅部動作を停止する機能、

特定信号光に関する出力一定制御機能、およびこれによる出力信号光の最小レベルまたは最大レベル保証機能、である。

【0081】また、本発明の信号光モニタを光増幅部の入力部および出力部に使用し、光増幅部の入力光および出力光をそれぞれモニタすることにより、次のような機能を備えることもできる。すなわち、

入力信号光が全く存在しない場合に光増幅部動作を停止する機能、

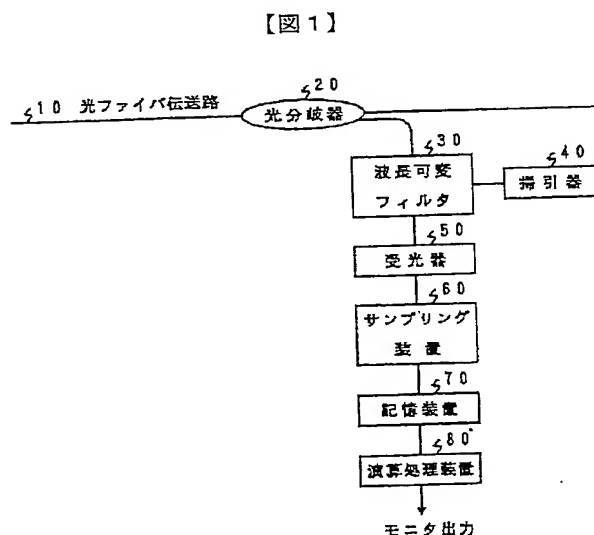
入力光に信号光が含まれ、出力光に信号光が含まれないことから、光増幅部の動作異常を判定する機能、

特定信号光に関する利得一定制御機能、およびこれによる光増幅部の最大利得または最小利得保証機能、

各信号光に対する利得および各信号光波長近傍の自然放出光レベルから、各信号光の雑音指数をモニタする機能、である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の信号光モニタの構成を示すブロック図である。



【図2】本発明の信号光モニタの動作を説明するための動作説明図であり、(a)は本発明の信号光モニタに入力される伝送信号光のスペクトラムの一例を示しており、(b)は本発明の信号光モニタを構成する受光器の出力波形の一例を示している。

【図3】本発明の信号光モニタの第1の実施例を示すブロック図である。

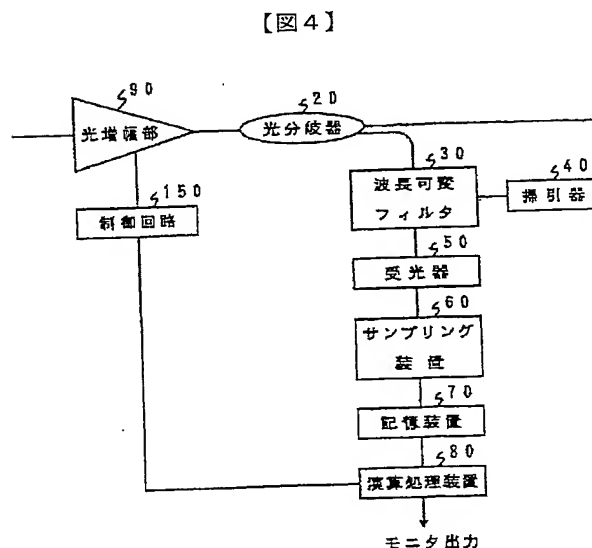
【図4】本発明の信号光モニタを用いた光増幅器の第1の実施例の構成を示すブロック図である。

【図5】本発明の信号光モニタを用いた光増幅器の第2の実施例の構成を示すブロック図である。

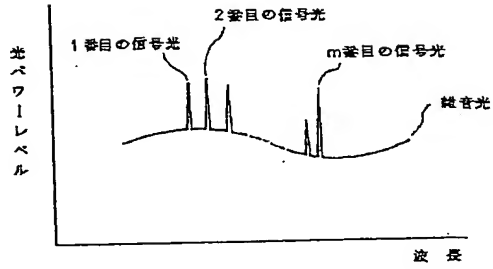
【図6】従来の光増幅器の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

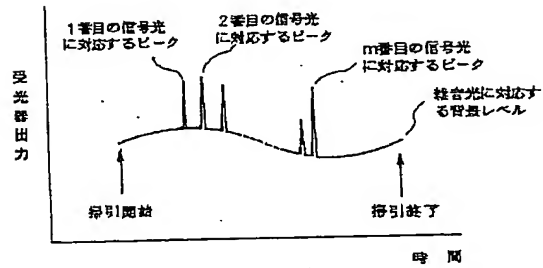
- 10 光ファイバ伝送路
- 20, 21, 22 光分岐器
- 30, 31 波長可変フィルタ
- 40, 41 掃引器
- 50, 51, 52 受光器
- 60, 61 サンプリング装置
- 70, 71 記憶装置
- 80 演算処理装置
- 90 光増幅部
- 100 光受光器
- 110 A/D変換回路
- 120, 140 メモリ
- 130 CPU
- 150, 151 制御回路
- 160 励起光源
- 170 エルビウム添加光ファイバ
- 180 WDMカプラ



【図2】

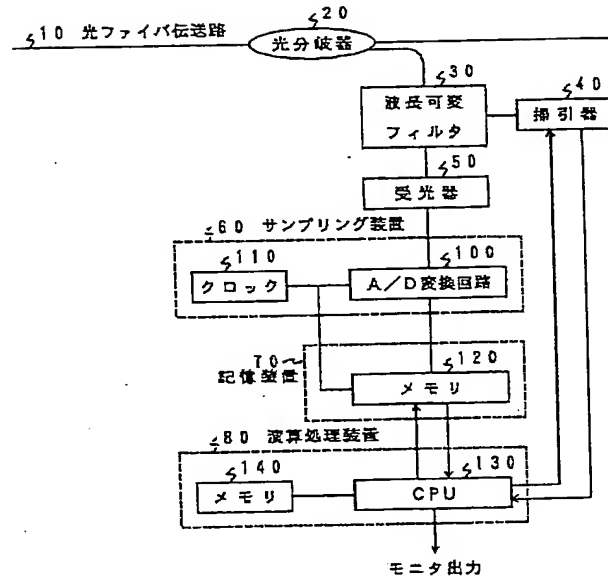


(a)

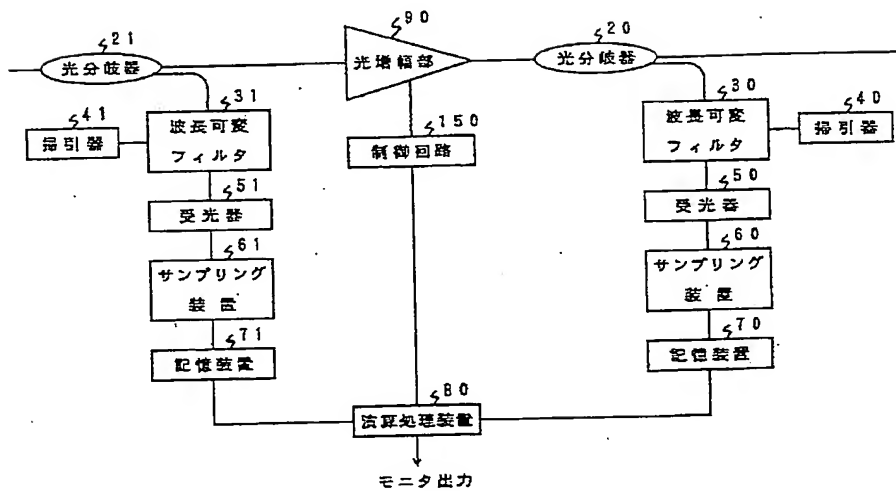


(b)

【図3】



【図5】



【図6】

